

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-223565

(43)公開日 平成11年(1999) 8月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 L 1/12

G 0 1 L 1/12

G 0 1 G 3/142

G 0 1 G 3/142

3/18

3/18

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平10-338262

(22)出願日 平成10年(1998)11月27日

(31)優先権主張番号 特願平9-330700

(32)優先日 平 9 (1997)12月 1 日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(31)優先権主張番号 特願平9-330701

(32)優先日 平 9 (1997)12月 1 日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000006264

三菱マテリアル株式会社

東京都千代田区大手町 1 丁目 5 番 1 号

(72)発明者 佐野 理太郎

埼玉県大宮市北袋町 1 丁目297番地 三菱

マテリアル株式会社総合研究所内

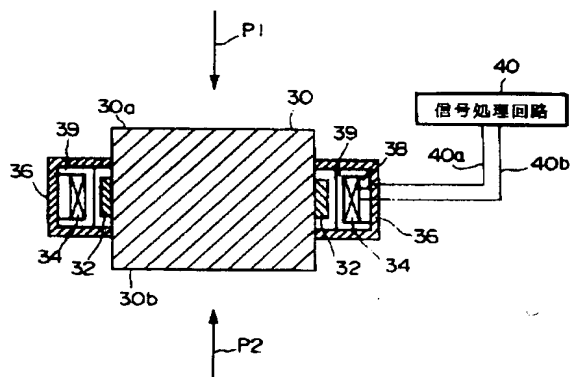
(74)代理人 弁理士 志賀 正武 (外 9 名)

(54)【発明の名称】 荷重センサ

(57)【要約】

【課題】 温度変化による検出信号の温度ドリフトが少なく精度の高い歪み検出が行え、且つ構造が単純であり、しかも小型で安価な荷重センサを提供すること。

【解決手段】 荷重によって歪む円柱状の本体部30と、前記本体部30の外周表面に溶射され、前記本体部30の歪みに応じて磁気特性が変化する帯状の磁歪材32と、前記磁歪材32の外周に配され、前記磁歪材32の磁気特性の変化を電気的なインピーダンスの変化に変換するコイル34と、前記コイル34に接続され、温度変化に基づく前記インピーダンスの変化を補償する温度補償回路38と、前記本体部30の歪みに基づく前記インピーダンスの変化を検出し、前記本体部30の歪みを測定する信号処理回路40とを具備する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 荷重によって歪む円柱状の本体部と、前記本体部の外周表面に配され、前記本体部の歪みに応じて磁気特性が変化する磁性材と、前記磁性材の外周に配され、前記磁性材の磁気特性の変化を電気的なインピーダンスの変化に変換する変換素子と、前記変換素子に接続され、温度変化に基づく前記インピーダンスの変化を補償する温度補償回路と、前記本体部の歪みに基づく前記インピーダンスの変化を検出し、前記本体部の歪みを測定する測定手段とを具備することを特徴とする荷重センサ。

【請求項2】 前記磁性材は前記本体部の外周表面に溶射されていることを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項3】 断面がコの字状であり、前記変換素子を覆うように前記磁性材の外周に設けられ、前記磁性材を通る磁束を閉ループとする磁気シールドを具備することを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項4】 前記磁性材は前記本体部の両端部から離間されて前記本体部に溶射されていることを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項5】 前記変換素子は、前記磁性材の外周に巻回されたコイルであることを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項6】 前記本体部は、円筒状または角柱状または角筒状であることを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項7】 前記変換素子に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、前記温度補償回路に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを具備することを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項8】 前記第1の検出手段は、前記変換素子に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする請求項7記載の荷重センサ。

【請求項9】 前記第2の検出手段は、前記温度補償回路に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする請求項7記載の荷重センサ。

【請求項10】 直列に接続された前記変換素子および前記温度補償回路に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、零点調整用抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の

検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを具備することを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項11】 前記第1の検出手段は、前記変換素子および前記温度補償回路に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする請求項10記載の荷重センサ。

【請求項12】 前記第2の検出手段は、前記零点調整用抵抗に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする請求項10記載の荷重センサ。

【請求項13】 前記変換素子、前記温度補償回路および抵抗を2組備え、前記第1の変換素子、温度補償回路および抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、

前記第2の変換素子、温度補償回路および抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、

前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを具備することを特徴とする請求項1記載の荷重センサ。

【請求項14】 前記第1の検出手段は、前記第1の抵抗にかかる交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする請求項13記載の荷重センサ。

【請求項15】 前記第2の検出手段は、前記第2の変換素子および温度補償回路にかかる交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする請求項13記載の荷重センサ。

【請求項16】 前記温度補償回路は、温度変化によって抵抗値が変化する素子と、該素子に並列接続され、該素子の温度変化に対する特性を線形に補償する抵抗と、該素子及び該抵抗に直列に接続され、温度補償回路全体の抵抗値を調整する抵抗とからなることを特徴とする請求項1、7、10または13記載の荷重センサ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、荷重センサに係り、特に外力が加わって歪みを生ずることにより磁気特性が変化する磁性材を利用した荷重センサに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、非晶質性磁歪材の透磁率の変化を検出することによって歪みを検出する荷重センサが種々開発されている。例えば、特開平5-118932号公報や特開平6-167698号公報には温度依存性を有する非晶質性磁歪材を用いた場合であっても温度変化に殆ど依存せず（温度ドリフトがなく）に歪みを測定することができる荷重センサが開示されている。

【0003】図8は、従来の荷重センサの構成を示す断面図である。図8において10は直径が10mmである

円柱状のチタン製の本体、11は直径18mmであり本体10の外周部に一体的に形成された荷重による変形部分である。12は荷重による歪みが生じないようにした非変形部分であり、本体10と幅1mmの溝13を介して設けることによって形成してある。14は変形部分11及び非変形部分12を覆うように熱硬化性のイミド系接着剤で250℃、1時間で接着した厚さ0.03mmのFe-Si-B-Cr系非晶質磁性合金である。

【0004】15は100回コイルを巻いて形成した荷重検出コイル、16は荷重検出コイル15と同構成の差動用コイルであり、これらのコイル15、16は変形部分11及び非変形部分12の外周上に接着した非晶質磁性合金14の外側にフェノール樹脂性ボビン17を介して配される。18は48%Ni-Fe合金製のヨークであり、ボビン17の外周に装着される。19は検出回路である。

【0005】上記構成において、まず、本体10に上方又は下方から荷重を印加すると、荷重の大きさに比例して変形部分11が変動し、その表面に接着された非晶質磁性合金14の透磁率が変化する。この透磁率変化を荷重検出コイル15でインダクタンスの変化として検出する。この出力と、非変形部分12の外周に設けた差動用のコイル16との差動出力を検出回路19で取ることにより温度変化による温度ドリフトが解消されて、ほぼ荷重の変化のみが得られる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来の荷重センサは本体10に非晶質磁性合金14を接着固定しているが、本体10の熱膨張係数と非晶質磁性合金14の熱膨張係数との間には差異があるため非晶質磁性合金14が歪み、非晶質磁性合金14の透磁率が変化する。荷重がかかっている場合、温度変化による歪みに起因する透磁率の変化と荷重による歪みに起因する透磁率の変化とが合成され、結果としてこの合成された透磁率の変化がインダクタンスの変化として表れる。

【0007】このため、荷重による歪みに起因する透磁率によるインダクタンスの変化を検出するために、荷重を受けない差動用コイル16を設けて温度変化による透磁率の変化に基づくインダクタンスの変化を検出し、荷重検出コイル15で検出されるインダクタンスの変化から温度変化による透磁率の変化に基づくインダクタンスの変化を差し引いて荷重による透磁率の変化分に基づく正味のインダクタンスの変化分を検出するようにしている。従って、従来は差動用コイル16を設けることが必須となり、本質的に構造が複雑になり、しかも小型化ができないという問題があった。

【0008】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、温度変化による検出信号の温度ドリフトが少なく精度の高い歪み検出が行え、且つ構造が単純であり、しかも小型で安価な荷重センサを提供することを目的と

する。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1は、荷重によって歪む円柱状の本体部と、前記本体部の外周表面に配され、前記本体部の歪みに応じて磁気特性が変化する磁性材と、前記磁性材の外周に配され、前記磁性材の磁気特性の変化を電氣的なインピーダンスの変化に変換する変換素子と、前記変換素子に接続され、温度変化に基づく前記インピーダンスの変化を補償する温度補償回路と、前記本体部の歪みに基づく前記インピーダンスの変化を検出し、前記本体部の歪みを測定する測定手段とを具備することを特徴とする。本発明の請求項2は、前記磁性材が前記本体部の外周表面に溶射されていることを特徴とする。本発明の請求項3は、断面がコの字状であり、前記変換素子を覆うように前記磁性材の外周に設けられ、前記磁性材を通る磁束を閉ループとする磁気シールドを具備することを特徴とする。本発明の請求項4は、前記磁性材が前記本体部の両端部から離間されて前記本体部に溶射されていることを特徴とする。本発明の請求項5は、前記変換素子が、前記磁性材の外周に巻回されたコイルであることを特徴とする。本発明の請求項6は、前記本体部が、円筒状または角柱状または角筒状であることを特徴とする。本発明の請求項7は、前記変換素子に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、前記温度補償回路に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを具備することを特徴とする。本発明の請求項8は、前記第1の検出手段が、前記変換素子に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする。本発明の請求項9は、前記第2の検出手段が、前記温度補償回路に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする。本発明の請求項10は、直列に接続された前記変換素子および前記温度補償回路に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、零点調整用抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを具備することを特徴とする。本発明の請求項11は、前記請求項10記載の第1の検出手段が、前記変換素子および前記温度補償回路に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする。本発明の請求項12は、前記請求項10記載の第2の検出手段が、前記零点調整用抵抗に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする。本発明の請求項13は、前記

変換素子、前記温度補償回路および抵抗を2組備え、前記第1の変換素子、温度補償回路および抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、前記第2の変換素子、温度補償回路および抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを具備することを特徴とする。本発明の請求項14は、前記請求項13記載の第1の検出手段が、前記第1の抵抗にかかる交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする。本発明の請求項15は、前記請求項13記載の第2の検出手段が、前記第2の変換素子および温度補償回路にかかる交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有することを特徴とする。本発明の請求項16は、前記請求項1、7、10または13記載の温度補償回路が、温度変化によって抵抗値が変化する素子と、該素子に並列接続され、該素子の温度変化に対する特性を線形に補償する抵抗と、該素子及び該抵抗に直列に接続され、温度補償回路全体の抵抗値を調整する抵抗とからなることを特徴とする。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の一実施例について説明する。図1は本発明の一実施形態による荷重センサの構成を示す断面図である。図1において、30は直径が、例えば20mmである、円柱状の金型用鋼HPM75からなる本体部である。この本体部30は、図中符号P1、P2が付された矢印の方向から加わる荷重によって歪みを生じる。なお、本体部30の材料は、SNCM材、SKD材、S45C等の鉄鋼材料でも良い。

【0011】32は、本体部30の外周上に形成された円筒状の磁歪材であり、例えばFe:Ni:Mo:Bの合金からなり、中心軸方向の長さが本体部30の軸方向の長さよりも短く形成されている。この磁歪材32は本体部30の上端30a及び下端30bから離間され、本体部30の外周に溶射されて一体形成されている。磁歪材32は本体部30の歪みを検出するためのものであり、本体部30の歪みに応じてその磁気特性（インダクタンスと損失抵抗）が変化する。

【0012】磁歪材32を上端30a、下端30bから離間して設けるのは、荷重センサ設置の際に本体部30に磁性体を取り付ける場合又は磁性体が近傍に設けられる場合があり、この取り付けられた磁性体又は近傍に設けられた磁性体により漏れ磁束が発生することにより歪み測定に誤差が生じるのを防止するためである。また、接着剤を用いずに磁歪材32を本体部30に溶射するのは、本体部30の歪みを磁歪材32で測定する際に、熱膨張係数が一桁大きい接着剤の影響を受けないようにし、温度変化のみに起因する磁歪材32の磁気特性の変化に基づく測定誤差をなるべく減少させるためである。

【0013】39は、熱膨張係数が $2 \times 10^{-5}$ 程度のシンジオタクチックポリスチレン（SPS）のボビンであり、その内周は本体部30にも磁歪材32にも接触していない。34はボビン39に例えば100回マグネットワイヤを巻いて形成したコイルであり、本体部30の歪みによる磁歪材32の磁気特性の変化を自己のインピーダンス（インダクタンスと損失抵抗）の変化に変換するためのものである。つまり、磁気的な変化量を電気的な変化量に変換するためのものである。このコイル34には後述するように交流の電流が流される。

【0014】36は断面がコ字状であり、コイル34の周囲を覆うように本体部30に設けられた磁気シールドである。この磁気シールド36は例えば軟鉄からなり、コイル34に電流を流した際に生じる磁束が、磁歪材32及び磁気シールド36を通過して閉ループとなるようにするためのものである。また、外部からコイル34や磁歪材32に混入する磁気ノイズを遮断するためのものである。

【0015】38は磁気シールド36の内部であって、コイル34の近傍に配された温度補償回路である。前述したように、本体部30の熱膨張係数と磁歪材32の熱膨張係数とは異なっており、磁歪材32を本体部30に溶着することによって温度変化による磁歪材32の磁気特性の変化を抑えるようにしているが、温度変化による磁気特性の変化が完全にゼロとなるわけではなく依然として温度ドリフトが生ずる。温度補償回路38はこの温度ドリフトを極めて少なくするためのものである。温度補償回路38はコイル34に直列に接続されている。

【0016】40は信号処理回路であり、図示は省略しているが内部に交流電圧源を備え、ケーブル40aによって温度補償回路38と接続され、ケーブル40bによってコイル34と接続されている。この信号処理回路40は、温度補償回路38及びコイル34に交流電圧を供給するとともに、回路を流れる電流の変化を電圧に変換し、変換後の電圧値の変化に基づいて本体部30の歪みを検出する。なお、図1においては、ボビン39にコイル34を巻いた形態で説明したが、これに限らず、ボビン39を設けることなく、磁歪材32のまわりに絶縁テープを介してコイル34を巻いた構成でも良いことはいうまでもない。

【0017】次に、本発明の一実施形態による荷重センサの電氣的構成について説明する。図2は本発明の一実施形態による荷重センサの電氣的構成を示す回路図であり、図1中に示された部材に対応する部材には同一の符号が付されている。図2において、50は図1中の磁歪材32、コイル34、及び温度補償回路38の電氣的に等価な回路を示す。つまり、磁歪材32及びコイル34は図2中において可変なインピーダンス52として表され、温度補償回路38はNTCサーミスタ（Negative Temperature Coefficient サーミスタ）58と、温度変

化による抵抗値変化が小さく、NTCサーミスタ58に並列接続された抵抗56と、NTCサーミスタ58及び抵抗56による並列抵抗に直列接続された絶対値調整用の抵抗54とからなる。

【0018】上記NTCサーミスタ58は、温度上昇に従ってその抵抗値が減少する負特性を有するサーミスタであり、その変化特性は温度上昇に正比例して抵抗値が減少する訳ではなく、温度上昇に従って非線型的に抵抗値が減少する特性を有する。このNTCサーミスタ58はインピーダンス52の温度変化による変化を補償するためのものであり、インピーダンス52は温度上昇に伴ってその値が上昇する特性を有するため、インピーダンス52の温度変化分を補償するため負特性を有するNTCサーミスタ58が用いられる。

【0019】NTCサーミスタ58に並列接続された抵抗56は、NTCサーミスタ58の非線型特性が線形特性となるように補償するためのものである。つまり、NTCサーミスタ58と抵抗56とによる並列回路を1つのサーミスタとして見た場合に、このサーミスタの特性は線形の特性を有する。温度変化によりインピーダンスの直流抵抗分のみが変化する場合、例えば、図1中のコイル34の抵抗成分の温度係数が $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ である場合には、NTCサーミスタ58と抵抗56との並列回路は温度係数を $-0.4\%/^{\circ}\text{C}$ と設定するのが最良である。絶対値調整用の抵抗54は温度補償回路38全体の抵抗値を調整するためのものである。

【0020】図2において、信号処理回路40は、交流電圧源42、抵抗44、整流回路46、及び零点オフセット調整回路48を含む。上記交流電圧源42は正弦波の交流電圧を出力するものであり、一端がケーブル40bを介してインピーダンス52に接続され、他端が抵抗44及びケーブル40aを介して温度補償回路38に接続されている。以上、交流電圧源42、ケーブル40b、回路50、及び抵抗44によって1つの閉回路が形成される。

【0021】上記抵抗44は閉回路を流れる電流を電圧

$$Z = Z_1\{1 + m_1 F + \alpha_1(T - T_0)\} + iZ_2\{1 + m_2 F + \alpha_2(T - T_0)\}$$

…(2)

ここで、

$Z_1$ ：常温（例えば $25^{\circ}\text{C}$ ）で本体部1に荷重がかかっていない場合のインピーダンス52の実数部

$Z_2$ ：常温（例えば $25^{\circ}\text{C}$ ）で本体部1に荷重がかかっていない場合のインピーダンス52の虚数部

$m_1$ ：荷重によるインピーダンス52の実数部の変化率

$m_2$ ：荷重によるインピーダンス52の虚数部の変化率

$\alpha_1$ ：インピーダンス52の実数部の温度係数

$\alpha_2$ ：インピーダンス52の虚数部の温度係数

$T$ ：温度補償回路38周囲の温度

$T_0$ ：常温（例えば $25^{\circ}\text{C}$ ）

に変換するものであり、その両端は整流回路46に接続されている。整流回路46は抵抗44によって変換された交流の電圧を整流及び平滑して直流電圧に変換するためのものである。この整流回路46には零点オフセット調整回路48が接続されている。零点オフセット調整回路48は整流回路46から出力される直流電圧にオフセット電圧を加えたりオフセット電圧を差し引いて端子48aへ出力する。図示は省略しているが、端子48aには端子48aの電圧値に基づいて本体部30の歪みを演算する信号処理部が接続される。この信号処理部は例えば端子48aから出力される電圧値が $0[\text{V}]$ である場合に、本体部52の歪みは零であるという演算を行うため、上記零点オフセット調整回路48が必要となる。

【0022】上記構成において、交流電圧源42から交流電圧が出力されると、交流電流が閉回路に流れる。閉回路を流れる電流は抵抗44で交流の電圧に変換され、整流回路46において整流及び平滑が行われて直流電圧に変換され、零点オフセット調整回路48においてオフセット電圧が加えられたりオフセット電圧が差し引かれて図1中の本体部30の歪みに応じた電圧値が端子48aにあらわれる。

【0023】次に、図2中に示された抵抗54、抵抗56、及びNTCサーミスタ58の値の設定及び本発明の一実施形態による荷重センサが周囲の温度に関わりなく本体部30にかかる荷重による歪みのみを測定することができる原理について説明する。整流回路46から出力される直流電圧の値 $V_B$ は(1)式で表される。

【数1】

$$V_B = \frac{R_s}{|Z + R_v + R_s|} E_0 \quad \dots (1)$$

但し、 $E_0$ は交流電圧源42から出力される交流電圧の振幅、 $Z$ はインピーダンス52の値、 $R_v$ は温度補償回路38の抵抗値、 $R_s$ は抵抗44の値である。

【0024】ここで、インピーダンス52の値 $Z$ を(2)式で表す。

【数2】

$F$ ：本体部30にかかる荷重

$i$ ：虚数単位（つまり、 $i^2 = -1$ ）

【0025】また、温度補償回路38の抵抗値 $R_v$ を温度変化を考慮に入れて(3)式に表す。

【数3】

$$R_v = R_{v0}\{1 - \alpha_v(T - T_0)\} \quad \dots (3)$$

但し、 $R_{v0}$ は常温（例えば $25^{\circ}\text{C}$ ）における温度補償回路38の抵抗値であり、 $\alpha_v$ は温度補償回路38の温度係数である。

【0026】(2)、(3)式を(1)式に代入すると

(4) 式となる。

【数4】

$$V_B = \frac{R_s}{\sqrt{[Z_1\{1+m_1F+\alpha_1(T-T_0)\}+R_{v0}\{1-\alpha_v(T-T_0)\}+R_s]^2 + [Z_2\{1+m_2F+\alpha_2(T-T_0)\}]^2}} E_0 \quad \dots (4)$$

【0027】ここで、

【数5】

$$X_1 = [Z_1\{1+m_1F+\alpha_1(T-T_0)\}+R_{v0}\{1-\alpha_v(T-T_0)\}+R_s]^2 \quad \dots (5)$$

【数6】

$$X_2 = [Z_2\{1+m_2F+\alpha_2(T-T_0)\}]^2 \quad \dots (6)$$

であるので、 $X_1$ 、 $X_2$ はそれぞれ(7)式及び(8)式に示されたように近似できる。

【数8】

とおく。

【0028】

【数7】

$$\begin{aligned} 1 &\gg m_1^2 F^2 \\ 1 &\gg \alpha_1^2 (T-T_0)^2 \\ 1 &\gg 2m_1 F \alpha_1 (T-T_0) \\ 1 &\gg \alpha_v^2 (T-T_0)^2 \\ 1 &\gg \{m_1 F + \alpha_1 (T-T_0)\} \alpha_v (T-T_0) \\ 1 &\gg m_2^2 F^2 \\ 1 &\gg \alpha_2^2 (T-T_0)^2 \\ 1 &\gg 2m_2 F \alpha_2 (T-T_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 &\approx Z_1^2 \{1+2m_1F+2\alpha_1(T-T_0)\} + R_{v0}^2 \{1-2\alpha_v(T-T_0)\} + R_s^2 \\ &\quad + 2Z_1 R_{v0} \{1-\alpha_v(T-T_0)+m_1F+\alpha_1(T-T_0)\} \\ &\quad + 2R_{v0} R_s \{1-\alpha_v(T-T_0)\} + 2Z_1 R_s \{1+m_1F+\alpha_1(T-T_0)\} \end{aligned}$$

... (7)

【数9】

の平方根の中身は(9)式となる。

$$X_2 \approx Z_2^2 \{1+2m_2F+2\alpha_2(T-T_0)\} \quad \dots (8)$$

【数10】

【0029】よって、 $X_1+X_2$ 、つまり(4)式の分母

$$\begin{aligned} X_1+X_2 &\approx \{(Z_1+R_{v0}+R_s)^2 + Z_2^2\} \\ &\quad \times \left[ 1 + 2 \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1+R_{v0}+R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{(\alpha_1 Z_1 - \alpha_v R_{v0})(Z_1+R_{v0}+R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T-T_0)}{(Z_1+R_{v0}+R_s)^2 + Z_2^2} \right] \end{aligned} \quad \dots (9)$$

従って、

【数11】

$$\begin{aligned} V_B &\approx \frac{R_s E_0}{\sqrt{(Z_1+R_{v0}+R_s)^2 + Z_2^2}} \\ &\quad \times \left[ 1 - 2 \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1+R_{v0}+R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{(\alpha_1 Z_1 - \alpha_v R_{v0})(Z_1+R_{v0}+R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T-T_0)}{(Z_1+R_{v0}+R_s)^2 + Z_2^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad \dots (10)$$

となる。ここで、

【数12】

$$1 > 2 \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1 + R_{v0} + R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{(\alpha_1 Z_1 - \alpha_v R_{v0})(Z_1 + R_{v0} + R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T - T_0)}{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2}$$

であるので、テーラー展開を(10)式に用いて2次以降を無視すると、 【数13】

$$V_B \approx \frac{R_s E_0}{\sqrt{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2}} \times \left[ 1 - \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1 + R_{v0} + R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{(\alpha_1 Z_1 - \alpha_v R_{v0})(Z_1 + R_{v0} + R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T - T_0)}{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2} \right]$$

…(11)

となる。

【0030】次に、整流回路46から出力される直流電圧の値 $V_B$ が温度変化、つまり式中に表れる項 $(T - T_0)$ に影響されない条件を求める。(11)式から解るように、

【数14】

$$\alpha_1 Z_1 - \alpha_v R_{v0} + \frac{\alpha_2 Z_2^2}{Z_1 + R_{v0} + R_s} = 0 \quad \dots (12)$$

である場合、項 $(T - T_0)$ が含まれる項が零となるので直流電圧の値 $V_B$ が温度変化に影響を受けないことになる。即ち、温度補償回路38の温度係数 $\alpha_v$ が、

【数15】

$$\alpha_v = \frac{Z_1}{R_{v0}} \alpha_1 + \frac{Z_2^2}{R_{v0}(Z_1 + R_{v0} + R_s)} \alpha_2 \quad \dots (13)$$

である場合に、直流電圧の値 $V_B$ が温度変化に影響を受けなくなる。

【0031】上記の式においては温度補償回路38の抵抗値を $R_v$ として一括していたが、図2中に示されるように、温度補償回路38をなす抵抗54、抵抗56、及びNTCサーミスタ58を考慮した場合であっても、抵抗54及び抵抗56には温度変化による抵抗変化が小さい抵抗を用い、抵抗54、抵抗56、及びNTCサーミスタ58を合成した温度変化特性が(13)式を満足するように各々を選択すれば、温度変化に影響されず本体部30に加わる荷重のみによる歪みを測定することができる。

【0032】また、上記(13)式を満足する場合、(11)式は、

【数16】

$$V_B \approx \frac{R_s E_0}{\sqrt{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2}} \left\{ 1 - \frac{m_1 Z_1 (Z_1 + R_{v0} + R_s) + m_2 Z_2^2}{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2} F \right\} \quad \dots (14)$$

となる。この場合、図2中の端子48aから出力される電圧値 $v$ は、零点オフセット調整回路48によって、(14)式中の項

【数17】

$$\frac{R_s E_0}{\sqrt{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2}}$$

を減算することによって、

【数18】

$$V \approx - \frac{m_1 Z_1 (Z_1 + R_{v0} + R_s) + m_2 Z_2^2}{\{(Z_1 + R_{v0} + R_s)^2 + Z_2^2\}^{\frac{3}{2}}} F R_s E_0 \quad \dots (15)$$

となり、本体部30に加わる荷重に比例した電圧を得ることができる。

【0033】図9に温度補償回路がないときの荷重に対する出力電圧の測定値を示す。また、図10に温度補償回路があるときの荷重に対する出力電圧の測定値を示す。各パラメータは次の通りである。

$Z_1 = 100 [\Omega]$

$Z_2 = 1000 [\Omega]$

$m_1 = 0.00004 [\Omega/N]$

$m_2 = 0.00004 [\Omega/N]$

$\alpha_1 = 0.004 [1/K]$

$\alpha_2 = 0.004 [1/K]$

$R_s = 500 [\Omega]$

$E_0 = 10 [V]$

$R_{v0} = 500 [\Omega]$

$\alpha_v = 0.008073$

(図2で、抵抗54は無し、抵抗56は910 $[\Omega]$ 、

NTCサーミスタ58は、25℃の抵抗値が1 $[k\Omega]$ )

で、-20から100℃での平均のB定数が3338Kのものを使用)

図9に示すように、温度補償回路がないと、温度によって出力電圧に差が出てしまうが、図10に示すように、温度補償回路があると、温度による出力電圧のバラツキが抑えられる。すなわち、図9においては、0~25000(N)での出力電圧差は3(V)、温度によるバラツキは1(V)程度あり、0~25000(N)での出力電圧差に対する温度によるバラツキの比は、1/3となるのに対して、図10においては、0~25000(N)での出力電圧差は1.7(V)、温度によるバラツキは0.02(V)程度であり、0~25000(N)での出力電圧差に対する温度によるバラツキの比は、1/100となる。したがって、温度補償回路を付加することにより、温度ドリフト率は0.13%FS/10℃に改善された。

【0034】なお、上記実施形態においては本体部30は円柱状の形態であったが、中央部の外径を小さくして応力が集中しやすい形状にしてもよい。また、温度補償回路38は磁気シールド36の内部であってコイル34の近傍に配されていたが、本体部30や磁歪材32に設けられていても良く、磁気シールド36の外周に設けられていても良い。さらに、磁歪材32は、本体部30の外周に溶射されて一体形成されているが、本体部30の外周に接着されていても良い。

【0035】次に、図1および図3、図4を参照して本発明の他の実施形態について説明する。

【0036】図3において、20は図1中の磁歪材32及びコイル34の電気的に等価な回路であり、一般的なインピーダンスで表している。また、図3中の22は図1中に示された温度補償回路の電気的に等価な回路であり、温度変化によって可変な可変抵抗で表している。温度が上昇するとインピーダンス20が増加する。本実施形態では、後述するように、インピーダンス20及び温度補償回路22はブリッジ回路の一部をなしているため、温度上昇分によるインピーダンス20の増加分を補償するために温度補償回路22は温度上昇に従って抵抗分が増加する性質の素子を用いている。この素子には例えばPTCサーミスタ(Positive Temperature Coefficient サーミスタ)が用いられる。

【0037】上記PTCサーミスタは、温度上昇に従ってその抵抗値が増加する正特性を有するサーミスタであるが、その変化特性は温度上昇に正比例して抵抗値が増加する訳ではなく、温度上昇に従って非線形的に抵抗値が増加する特性を有する。このPTCサーミスタはインピーダンス20の温度変化による変化を補償するためのものであり、上記のようにインピーダンス20は温度上昇に伴ってその値が上昇する特性を有し、ブリッジ回路が構成されているため、インピーダンス20の温度変化分を補償するために正特性を有するPTCサーミ

スタが用いられている。

【0038】図4は温度補償回路22の回路構成を示す図である。図4において、82はPTCサーミスタであり、PTCサーミスタ82に並列接続された抵抗80は、PTCサーミスタ82の非線形特性が線形特性となるように補償するためのものである。つまり、PTCサーミスタ82と抵抗80とによる並列回路を1つのサーミスタとして見た場合に、このサーミスタの特性は線形の特性を有する。例えば、インピーダンス20の抵抗成分の温度係数が0.4%/℃である場合には、PTCサーミスタ82と抵抗80との並列回路も温度係数が0.4%/℃となるように設定するのが最良である。84は絶対値調整用の抵抗であり、温度補償回路22全体の抵抗値を調整するためのものである。

【0039】図3において、信号処理回路60は、交流電圧源62、抵抗64、66、整流回路68、70、及び差動回路72を含む。上記温度補償回路22、インピーダンス20、抵抗66、及び抵抗64はブリッジ回路をなしている。

【0040】上記交流電圧源62は正弦波の交流電圧を出力するものであり、一端がケーブル60cを介してブリッジ回路をなすインピーダンス20と温度補償回路22との接続点に接続され、他端が接地されている。また、上記ブリッジ回路における抵抗64と抵抗66との接続点は接地されている。抵抗64は温度補償回路22を流れる電流を電圧に変換するためのものであり、抵抗66はインピーダンス20を流れる電流を電圧に変換するためのものである。従って、抵抗64と抵抗66とは同一の抵抗値を有するのが好ましい。そして、抵抗64はケーブル60aを介して温度補償回路22に接続され、かつ抵抗66はケーブル60bを介してインピーダンス20に接続されている。

【0041】また、ブリッジ回路をなすインピーダンス20と抵抗66との接続点は整流回路68に接続され、温度補償回路22と抵抗64との接続点は整流回路70にそれぞれ接続されている。整流回路68、70は入力される交流電圧を整流して平滑して直流の電圧に変換するものである。整流回路68及び整流回路70の出力はそれぞれ差動回路72に接続されている。差動回路72は入力される電圧の差を増幅して端子72aに出力するものである。

【0042】また、図示は省略しているが、端子72aには端子72aの電圧値に基づいて本体部30の歪みを演算する信号処理部が接続される。この信号処理部は例えば端子72aから出力される電圧値が0[V]である場合に、本体部30の歪みは零であるという演算を行うものである。信号処理部は予め零点が設定されており、この信号処理部の零点に合わせるために、差動回路72に零点オフセット調整を行うための回路を設け、整流回路70から出力される直流電圧にオフセット電圧を加え



たりオフセット電圧を差し引いて、オフセット電圧が畳重された電圧値と整流回路68から出力される電圧値との差を増幅するようにしてもよい。

【0043】上記構成において、交流電圧源62から交流電圧が出力されると、交流電流がブリッジ回路に流れる。ブリッジ回路を流れる電流の内、温度補償回路22を流れる電流は抵抗64で交流の電圧に変換され、インピーダンス20を流れる電流は抵抗66で交流の電圧に変換される。抵抗64及び抵抗66で変換された電圧は整流回路70、68へ各々入力される。整流回路70、68では入力される電圧の整流及び平滑が行われて直流電圧に変換され、差動増幅回路72へ出力される。差動増幅回路72においては、入力された各々の直流電圧の差が増幅されて端子72aへ出力される。

【0044】図1中の本体に荷重が加わった場合には、インピーダンス20の値が加えられた荷重に応じて減少する。インピーダンス20の値が減少すると、インピーダンス20を流れる電流が増加するために抵抗66によって変換される電圧値が上昇する。一方、温度補償回路22に流れる電流は変化しないため、整流回路68、70を介して差動増幅回路72へ入力される電圧値の差は、荷重が加えられない場合に比べ増加する。端子72aにはこの増加分に応じた電圧値が出力される。端子72aに接続された信号処理部は端子72aの電圧値の増加分に応じて本体部30の歪みを演算する。

$$Z = Z_1\{1 + m_1F + \alpha_1(T - T_0)\} + iZ_2\{1 + m_2F + \alpha_2(T - T_0)\} \quad \dots(17)$$

ここで、

$Z_1$  : 常温 (例えば25℃) で本体部30に荷重がかかっていない場合のインピーダンス20の実数部

$Z_2$  : 常温 (例えば25℃) で本体部30に荷重がかかっていない場合のインピーダンス20の虚数部

$m_1$  : 荷重によるインピーダンス20の実数部の変化率

$m_2$  : 荷重によるインピーダンス20の虚数部の変化率

$\alpha_1$  : インピーダンス20の実数部の温度係数

【0045】また、温度が上昇して、インピーダンス20の値が増加した場合は、インピーダンス20に流れる電流値が減少する。温度が上昇すると温度補償回路22の抵抗値も増加する。インピーダンス20と温度補償回路22の温度係数が同一に設定されている場合には、温度上昇に伴って減少する電流値も同一となる、従って、差動回路72に入力される電圧値の差が変化しないため、温度ドリフトが少なくなる。

【0046】次に、図4中に示された抵抗80、抵抗84、及びPTCサーミスタ82の値の設定及び本実施形態による荷重センサが周囲の温度に関わりなく本体部30にかかる荷重による歪みのみを測定することができる原理について説明する。整流回路68から出力される直流電圧の値 $V_A$ は(16)式で表される。

【数19】

$$V_A = \frac{R_s}{|Z + R_s|} E_0 \quad \dots(16)$$

但し、 $E_0$ は交流電圧源62から出力される交流電圧の振幅、 $Z$ はインピーダンス20の値、 $R_s$ は抵抗66の値である。

【0047】ここで、インピーダンス20の値 $Z$ を(17)式で表す。

【数20】

$\alpha_2$  : インピーダンス20の虚数部の温度係数

$T$  : 温度補償回路22周囲の温度

$T_0$  : 常温 (例えば25℃)

$F$  : 本体部30にかかる荷重

$i$  : 虚数単位 (つまり、 $i^2 = -1$ )

【0048】(17)式を(16)式に代入すると(18)式となる。

【数21】

$$V_A = \frac{R_s}{\sqrt{[Z_1\{1 + m_1F + \alpha_1(T - T_0)\} + R_s]^2 + Z_2^2\{1 + m_2F + \alpha_2(T - T_0)\}^2}} E_0 \quad \dots(18)$$

ここで、

【数22】

$$X_1 = [Z_1\{1 + m_1F + \alpha_1(T - T_0)\} + R_s]^2 \quad \dots(19)$$

【数23】

$$X_2 = Z_2^2\{1 + m_2F + \alpha_2(T - T_0)\}^2 \quad \dots(20)$$

とおく。

【0049】

【数24】

$$\begin{aligned}
 1 &\gg m_1^2 F^2 && \text{であるので、} X_1, X_2 \text{はそれぞれ(21)式及び(2} \\
 1 &\gg \alpha_1^2 (T - T_0)^2 && \text{2)式に示されたように近似できる。} \\
 1 &\gg 2m_1 F \alpha_1 (T - T_0) && \text{【数25】} \\
 1 &\gg m_2^2 F^2 \\
 1 &\gg \alpha_2^2 (T - T_0)^2 \\
 1 &\gg 2m_2 F \alpha_2 (T - T_0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &\approx Z_1^2 \{1 + 2m_1 F + 2\alpha_1 (T - T_0)\} + \\
 &R_s^2 + 2Z_1 R_s \{1 + m_1 F + \alpha_1 (T - T_0)\} \\
 &\dots (21)
 \end{aligned}$$

【数26】

$$X_2 \approx Z_2^2 \{1 + 2m_2 F + 2\alpha_2 (T - T_0)\} \dots (22)$$

【0050】よって、 $X_1 + X_2$ 、つまり(18)式の分母の平方根の中身は(23)式となる。

【数27】

$$\begin{aligned}
 X_1 + X_2 &\approx \{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2\} \\
 &\times \left[ 1 + 2 \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T - T_0)}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \right] \\
 &\dots (23)
 \end{aligned}$$

従って、

【数28】

$$\begin{aligned}
 V_A &\approx \frac{R_s E_0}{\sqrt{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2}} \\
 &\times \left[ 1 + 2 \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T - T_0)}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \\
 &\dots (24)
 \end{aligned}$$

となる。ここで、

【数29】

$$1 > 2 \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T - T_0)}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2}$$

であるので、テーラー展開を(24)式に用いて2次以降を無視すると、

【数30】

$$\begin{aligned}
 V_A &\approx \frac{R_s E_0}{\sqrt{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2}} \\
 &\times \left[ 1 - \frac{\{m_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + m_2 Z_2^2\} F + \{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2\} (T - T_0)}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \right] \\
 &\dots (25)
 \end{aligned}$$

となる。

【0051】次に、整流回路70から出力される直流電圧について説明する。温度補償回路22の抵抗値を $R_v$ とし、温度変化を考慮に入れて(26)式に表す。

【数31】

$$R_v = R_{v0} \{1 + \alpha_v (T - T_0)\} \dots (26)$$

但し、 $R_{v0}$ は常温(例えば25℃)における温度補償回路22の抵抗値であり、 $\alpha_v$ は温度補償回路22の温度係数である。

【0052】また、抵抗64の抵抗値を $R_0$ とすると、整流回路70から出力される直流電圧 $V_B$ は(27)式に表される。

【数32】

$$\begin{aligned}
 V_B &= \frac{R_D}{R_v + R_D} E_0 = \frac{R_D}{R_{v0} \{1 + \alpha_v (T - T_0)\} + R_D} E_0 \\
 &= \frac{R_D}{R_{v0} + R_D} \left\{ 1 + \frac{R_{v0}}{R_{v0} + R_D} \alpha_v (T - T_0) \right\}^{-1} E_0 \quad \dots (27)
 \end{aligned}$$

ここで、  
【数33】

$$1 > \frac{R_{v0}}{R_{v0} + R_D} \alpha_v (T - T_0)$$

$$V_B \approx \frac{R_D E_0}{R_{v0} + R_D} \left\{ 1 - \frac{R_{v0}}{R_{v0} + R_D} \alpha_v (T - T_0) \right\} \quad \dots (28)$$

となる。

【0053】次に、整流回路68から出力される直流電圧 $V_A$ と整流回路70から出力される直流電圧 $V_B$ との差 $V = V_A - V_B$ が温度変化の影響を受けないためには、式中に表れる項 $(T - T_0)$ が含まれる項が零となれば良い。従って、項 $(T - T_0)$ が含まれる項が零となるための条件は(25)式及び(28)式から、

【数35】

$$R_D = R_s \quad \dots (29)$$

$$R_{v0} + R_D = \sqrt{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \quad \dots (30)$$

$$\frac{R_{v0}}{R_{v0} + R_D} \alpha_v = \frac{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \quad \dots (31)$$

$$R_D = R_s \quad \dots (32)$$

$$R_{v0} = \sqrt{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} - R_s \quad \dots (33)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_v &= \frac{R_{v0} + R_D}{R_{v0}} \cdot \frac{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \\
 &= \frac{\sqrt{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2}}{\sqrt{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} - R_s} \cdot \frac{\alpha_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + \alpha_2 Z_2^2}{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2} \quad \dots (34)
 \end{aligned}$$

となり、 $R_D$ 、 $R_{v0}$ 、及び $\alpha_v$ は一意に求まる。上記の式中においては温度補償回路22の抵抗値を $R_v$ として一括していたが、図4中に示されるように、温度補償回路22をなす抵抗80、抵抗84、及びPTCサーミスタ82を考慮した場合であっても、抵抗80及び抵抗84には温度変化による抵抗変化が小さい抵抗を用い、抵抗80、抵抗84、及びPTCサーミスタ82を合成した温度変化特性が(32)式から(34)式を満足するよ

$$\begin{aligned}
 V &= V_A - V_B \\
 &\approx - \frac{R_s \{m_1 Z_1 (Z_1 + R_s) + m_2 Z_2^2\}}{\{(Z_1 + R_s)^2 + Z_2^2\}^{\frac{3}{2}}} E_0 F \quad \dots (35)
 \end{aligned}$$

となり、温度変化 $T - T_0$ の影響を受けずに本体部30に加わる荷重に比例した電圧を得ることができる。

【0056】図11に温度補償回路があるときの荷重に対する出力電圧の測定値を示す。各パラメータは次の通

であるので、テーラー展開を(27)式に用いて2次以降を無視すると、

【数34】

である。

【0054】(29)式～(31)式を用いて $R_D$ 、 $R_{v0}$ 、及び $\alpha_v$ 各々について解くと、

【数36】

うに各々を選択すれば、温度変化に影響されず本体部30に加わる荷重のみによる歪みを測定することができる。

【0055】また、上記(32)式～(34)式を満足する場合、整流回路68から出力される直流電圧 $V_A$ と整流回路70から出力される直流電圧 $V_B$ との差 $V = V_A - V_B$ は、

【数37】

りである。

$$Z_1 = 100 [\Omega]$$

$$Z_2 = 1000 [\Omega]$$

$$m_1 = m_2 = 0.00004 [\Omega/N]$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0.004 [1/K]$$

$$E_0 = 10 [V]$$

$$R_s = R_0 = 1000 [\Omega]$$

$$R_{v0} = 487 [\Omega]$$

$$\alpha_v = 0.0061$$

また、図4において、抵抗80は270 $[\Omega]$ 、抵抗84は390 $[\Omega]$ 、PTCサーミスタ82は、温度特性がT特性で25℃での抵抗値が1 $[k\Omega]$ のものを6本並列にしたものを使用している。温度補償回路がない図9に対して、図11に示すように、温度補償回路があると、温度による出力電圧のバラツキが抑えられる。すなわち、図9においては、0～25000(N)での出力電圧差は3(V)、温度によるバラツキは1(V)程度あり、0～25000(N)での出力電圧差に対する温度によるバラツキの比は、1/3となるのに対して、図11においては、0～25000(N)での出力電圧差は3.6(V)、温度によるバラツキは0.05(V)程度であり、0～25000(N)での出力電圧差に対する温度によるバラツキの比は、1/70となる。したがって、温度補償回路を付加することにより、温度ドリフト率は0.17%FS/10℃に改善された。

【0057】なお、上記各実施形態において、図2に示す温度補償回路38あるいは図3および図4に示す温度補償回路22の代わりに、図5に示す温度補償回路を用いても良い。この温度補償回路においては、サーミスタR<sub>t</sub>と線形補償用の抵抗R<sub>2</sub>～R<sub>7</sub>とを組み合わせたものを複数並列接続した線形補償部と、この線形補償部に直列に接続した絶対値補償用の抵抗R<sub>1</sub>とから構成されている。そして、このように構成することにより、さらに直線性の良い温度補償回路とすることができる。また、温度上昇に従って抵抗分が増加する性質の素子は、PTCサーミスタでなくても良く、白金測温抵抗体であっても良い。

【0058】また、上記各実施形態の代わりに、図6に示す電気回路を用いても良い。この回路は、コイル34のインピーダンス91、温度補償回路93および検出抵抗94の両端に交流電圧源90が接続され、検出抵抗94の両端に整流回路92が接続される一方、オフセット分を差し引くための零点調整用抵抗95、97に交流電圧源90が接続され、零点調整用抵抗97の両端に整流回路96が接続されるとともに、両整流回路92、96の出力が差動増幅回路98に入力されるようになっているものである。このように構成された回路を用いた荷重センサにあっては、上記各実施形態と同様の効果、すなわち、温度変化による検出信号の温度ドリフトが少なく、精度の高い歪み検出を行うことができる。

【0059】さらに、図7に示すように、コイル34のインピーダンス100、100'、温度補償回路102、102'および検出抵抗104、104'の両端に交流電圧源106が接続され、検出抵抗104の両端に

整流回路108が接続されるとともに、コイル34のインピーダンス100'および温度補償回路102'の両端に整流回路109が接続され、これらの整流回路108、109の出力を差動増幅回路110に入力するように構成しても良い。この場合、一对のコイル34は磁歪材32(図1参照)に同時に巻くようにする。このように構成することにより、各整流回路108、109の出力を重ね合わせることができるから、上記各実施形態に比べて出力を2倍にすることができる。さらにまた、これらの実施形態に示した温度補償方式は、荷重センサ以外のコイルを使用するセンサにも適用が可能で、例えば、電流センサ、磁気トルクセンサ、フラックスゲート磁気センサなどの温度補償にも有効である。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、荷重によって歪む円柱状の本体部と、前記本体部の外周表面に配され、前記本体部の歪みに応じて磁気特性が変化する磁性材と、前記磁性材の外周に配され、前記磁性材の磁気特性の変化を電気的なインピーダンスの変化に変換する変換素子と、前記変換素子に接続され、温度変化に基づく前記インピーダンスの変化を補償する温度補償回路と、前記本体部の歪みに基づく前記インピーダンスの変化を検出し、前記本体部の歪みを測定する測定手段とを設けたので、温度変化による検出信号の温度ドリフトを少なくすることができ、精度の高い検出を行えるという効果がある。また、前記磁性材は前記本体部の外周表面に溶射されているので、接着剤を用いずに磁性材を本体部に設けることができ、本体部の歪みを磁性材で測定する際に、熱膨張係数が一桁大きい接着剤の影響を受けないようにできて、温度変化のみに起因する磁性材の磁気特性の変化に基づく測定誤差をなるべく減少させることができる。また、断面がコの字状であり、前記検出素子を覆うように前記磁性材の外周に設けられ、前記磁性材を通る磁束を閉ループとする磁気シールドを設け、また、前記磁性材は前記本体部の両端部から離間されて前記本体部に溶射されているので、外部磁場に影響されることがなく、検出精度を更に向上させることができるという効果がある。また、前記変換素子は、前記磁性材の外周に巻回されたコイルであるので、構造が単純であり、しかも小型で安価な荷重センサが実現できるという効果がある。また、本発明の請求項7は、前記変換素子に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、前記温度補償回路に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを備えたので、精度の高い歪み検出を行うことができるという効果がある。また、前記第1の検出手段は、前記変換素子に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有し、また前

記第2の検出手段は、前記温度補償回路に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有しているので、小型で安価であることを必要とされる荷重センサに用いるには極めて好適であるという効果がある。また、本発明の請求項10は、直列に接続された前記変換素子および前記温度補償回路に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、零点調整用抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを備えたので、高精度の歪み検出を行うことができる。また、前記請求項10記載の第1の検出手段は、前記変換素子および前記温度補償回路に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有し、また前記請求項10記載の第2の検出手段は、前記零点調整用抵抗に直列に接続された抵抗によって変換された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有しているので、小型で安価であることを必要とされる荷重センサに用いるには極めて好適である。また、本発明の請求項13は、前記変換素子、前記温度補償回路および抵抗を2組備え、前記第1の変換素子、温度補償回路および抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第1の検出手段と、前記第2の変換素子、温度補償回路および抵抗に交流供給源によって流される電流を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段の検出結果と前記第2の検出手段の検出結果との差に基づいて、前記本体部の歪みを測定する差動手段とを備えているので、精度の高い歪み検出を行うことができるとともに、出力を倍増できる。また、前記請求項13記載の第1の検出手段は、前記第1の抵抗にかかる交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有し、また前記請求項13記載の第2の検出手段は、前記第2の変換素子および温度補償回路にかかる交流電圧を直流電圧に整流する整流回路を有しているので、小型で安価であることを必要とされる荷重センサに用いるには極めて好適である。また、前記請求項1、7、10または13記載の温度補償回路は、温度変化によって抵抗値が変化する素子と、該素子に並列接続され、該素子の温度変化に対する特性を線形に補償する抵抗と、該素子及び該抵抗に直列に接続され、温度補償回路全体の抵抗値を調整する抵抗とからなるので、構造が単純であり、しかも小型で安価であることを必要とされる荷重センサの温度補償回路として用いるには極めて好適であるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態による荷重センサの構成を示す断面図である。

【図2】 同実施形態による荷重センサの電氣的構成を示す回路図である。

【図3】 本発明の他の実施形態による荷重センサの電

氣的構成を示す回路図である。

【図4】 温度補償回路の回路構成を示す図である。

【図5】 温度補償回路の他の回路構成を示す図である。

【図6】 本発明の別の実施形態による荷重センサの電氣的構成を示す回路図である。

【図7】 本発明のさらに別の実施形態による荷重センサの電氣的構成を示す回路図である。

【図8】 従来の荷重センサの構成を示す断面図である。

【図9】 温度補償回路がないときの荷重センサの出力電圧を表す特性図である。

【図10】 図1および図2に示す実施形態において温度補償回路を付加したときの荷重センサの出力電圧を表す特性図である。

【図11】 図1および図3、図4に示す実施形態において温度補償回路を付加したときの荷重センサの出力電圧を表す特性図である。

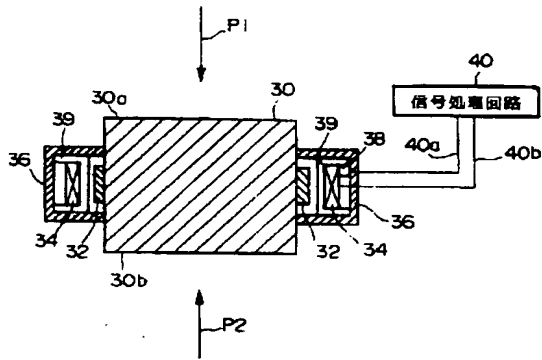
【符号の説明】

20	インピーダンス
22	温度補償回路
30	本体部
32	磁歪材（磁性材）
34	コイル（変換素子）
36	磁気シールド
38	温度補償回路
39	ボビン
40	信号処理回路（測定手段）
54	抵抗
56	抵抗
58	NTCサーミスタ
60	信号処理回路
62	交流電圧源（供給源）
64	抵抗
66	抵抗
68	整流回路
70	整流回路
72	差動回路（差動手段）
80	抵抗
82	PTCサーミスタ
84	抵抗
90	交流電圧源
91	インピーダンス
92	整流回路
93	温度補償回路
94	検出抵抗
95	零点調整用抵抗
96	整流回路
97	零点調整用抵抗
98	差動増幅回路

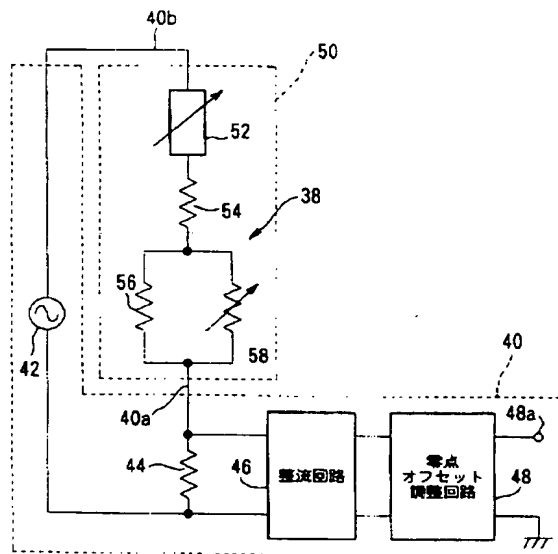
100、100' インピーダンス  
 102、102' 温度補償回路  
 104、104' 検出抵抗  
 106 交流電圧源

108 整流回路  
 109 整流回路  
 110 差動増幅回路

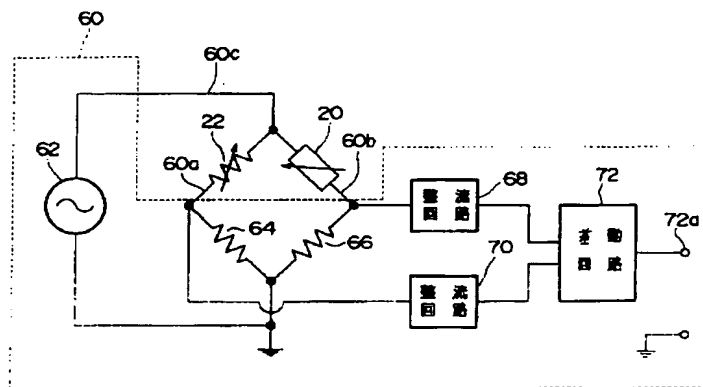
【図1】



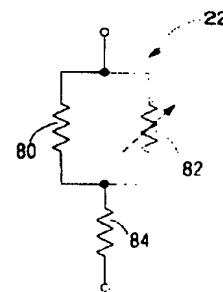
【図2】



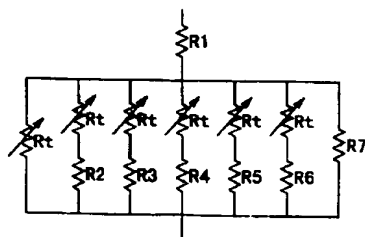
【図3】



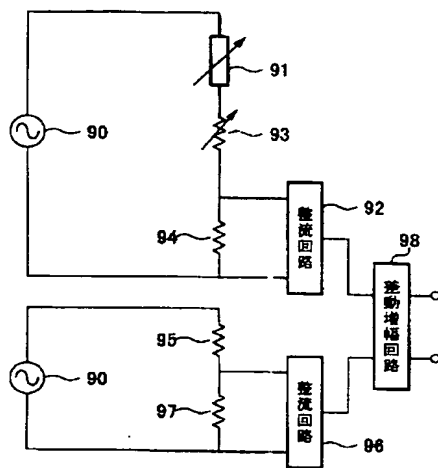
【図4】



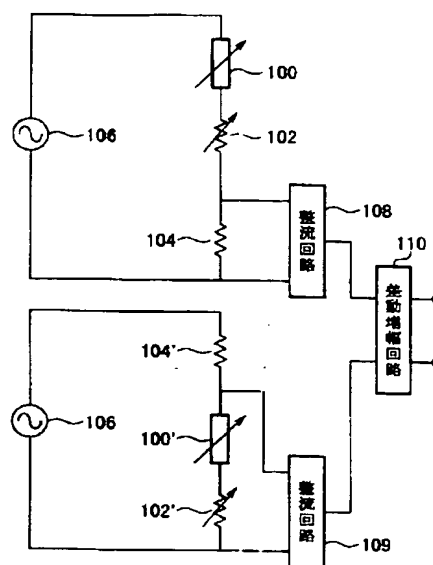
【図5】



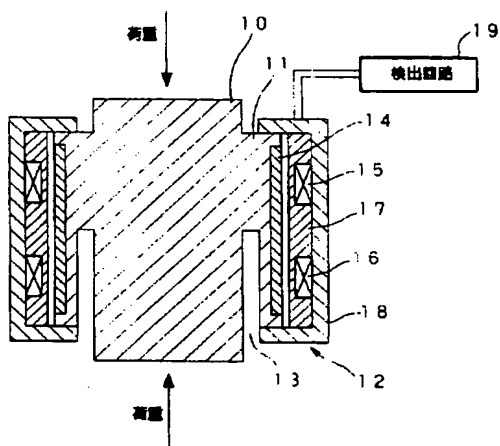
【図6】



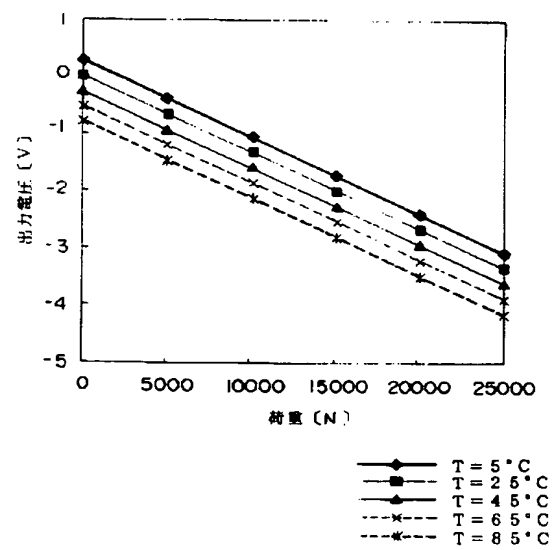
【図7】



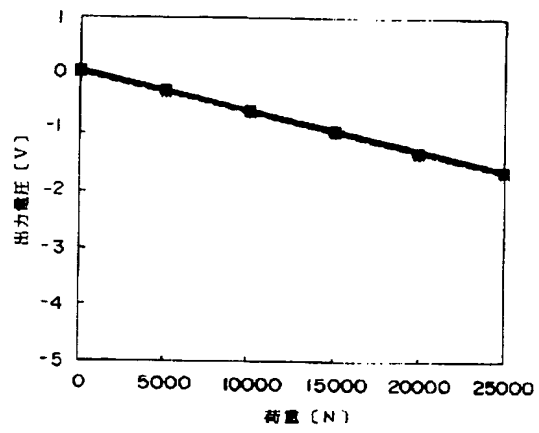
【図8】



【図9】

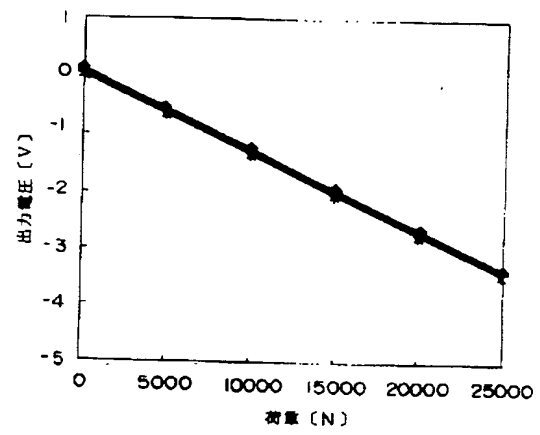


【図10】



—●—  $T = 5^{\circ}\text{C}$   
—■—  $T = 25^{\circ}\text{C}$   
—▲—  $T = 45^{\circ}\text{C}$   
---×---  $T = 65^{\circ}\text{C}$   
---\*---  $T = 85^{\circ}\text{C}$

【図11】



—●—  $T = 5^{\circ}\text{C}$   
—■—  $T = 25^{\circ}\text{C}$   
—▲—  $T = 45^{\circ}\text{C}$   
---×---  $T = 65^{\circ}\text{C}$   
---\*---  $T = 85^{\circ}\text{C}$